

Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade FUMEC
Escola de Engenharia da UFMG
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
<http://www.fumec.br/revistas/construindo/index>

ISSN 2318-6127 (online)
ISSN 2175-7143 (impressa)
Recebido para publicação em 20/05/2017
Aceito em 04/07/2017

A VERSATILIDADE DA MADEIRA LAMINADA COLADA

THE VERSATILITY GLUED LAMINATED TIMBER

Nogueira, Davi

Graduado em Arquitetura e Urbanismo Aluno – Engenharia de Materiais e Construção, UFMG
davi.nogueira@gmail.com

RESUMO

O propósito deste trabalho foi apresentar os tipos de ligações e juntas de madeira com as suas principais características e utilizações no contexto da construção civil, apontando, de forma concisa, as vantagens e desvantagens da aplicação de cada uma delas. Em seguida, caracterizamos a Madeira Laminada Colada (MLC) e descrevemos o seu processo de fabricação, principalmente na Europa, e sua introdução no mercado brasileiro. No estudo de caso, apresentamos uma obra singular onde podemos contemplar todos os recursos e primazias da utilização da Madeira Laminada Colada. Para atender às demandas da arquitetura contemporânea, cada vez mais arrojadas, as pesquisas e inovações tecnológicas têm possibilitado mais versatilidade no emprego de materiais nas edificações. O entalhamento usual nas juntas de madeira evoluiu, as juntas mecânicas e coladas passaram a atender as novas exigências estruturais permitindo maior flexibilidade no sistema construtivo. Surge, então, a Madeira Laminada Colada (MLC), colocando a utilização da madeira com eficiência construtiva definitivamente no mercado da construção civil.

Palavras chave: Madeira Laminada Colada (MLC), Juntas de madeira, Tipos de ligações.

ABSTRACT

The purpose of this work was to present the types of junctions and joints of wood with their main characteristics and uses in the context of civil construction, pointing specifically to the advantages and disadvantages in each application of Glued Laminated Timber (GLULAM), and to describe both its manufacturing process, mainly in Europe, and its introduction into the Brazilian market. In the case study, which is a unique masterpiece, we can recognize among all available alternatives the primacy of the use of GLULAM. In order to meet the increasingly bold demands of contemporary architecture, research and technological innovations have enabled more versatility in the use of materials in buildings. The usual notched wooden joints evolved into mechanical joints, which were able to meet the new structural requirements and thereby allow more flexibility in the construction system. Thus GLULAM offers definitive constructive efficiency in the civil construction market.

Keywords: Glued laminated timber (Glulam), wood joints, types of wood joinery

1. INTRODUÇÃO

Há milhares de anos têm sido utilizadas peças de madeira na construção civil. Na complexidade do conjunto estrutural as ligações têm significativa relevância. A união das peças tem a responsabilidade da contiguidade do sistema e a transmissão dos esforços solicitantes que atuarão no conjunto, de um elemento ao outro.

As diversas variáveis tornam bastante complexo o estudo das ligações em madeira. São vários os fatores a se considerar para a produção de uma estrutura de qualidade: processo de fabricação, qualidade da mão de obra, disponibilidade de equipamentos, dimensionamentos, conhecimento da madeira e outros.

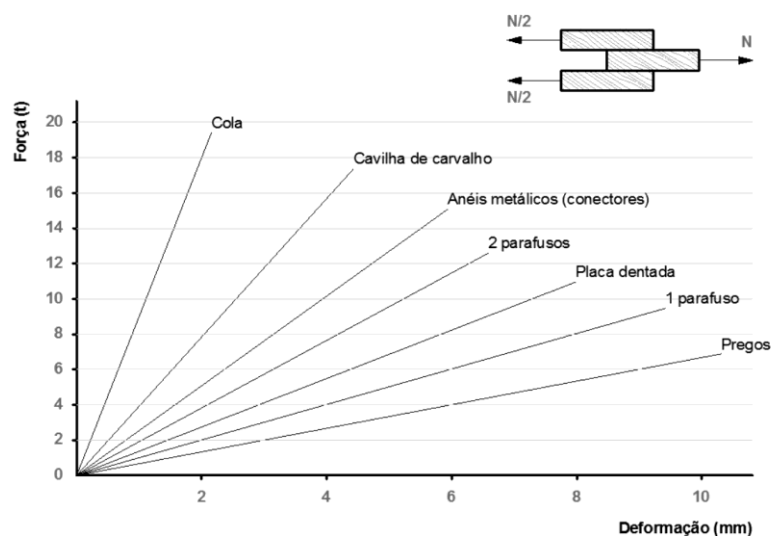
O conhecimento da madeira e suas propriedades, como suas características naturais, por exemplo, o teor de umidade, a resistência das fibras e a direção das mesmas, são elementos que orientam no caminho para a obtenção de uma ligação de madeira com qualidade.

Cada vez mais utilizada no mundo, a Madeira Laminada Colada (MLC), em alguns países, está sendo produzida com alta tecnologia, apresentando vantagens em sua aplicação se comparada à madeira maciça. Na produção das peças de MLC, as técnicas empregadas maximizam as suas propriedades mecânicas aprimorando o seu desempenho no conjunto da estrutura.

2. JUNTAS DE MADEIRA

Devido à limitação no comprimento das peças de madeira, principalmente no caso de madeira serrada, que são encontradas em comprimentos de 4 a 5 metros, para viabilizar a execução das estruturas é necessária a execução de ligações (CARRASCO, 2006). Ressalta ainda que as ligações nas estruturas de madeiras constituem os pontos mais perigosos, pois a simples falha de uma única ligação poderá ser responsável pelo colapso de todo um conjunto de elementos estruturais. O Gráfico 1, a seguir, demonstra a variação da deformação das peças de madeira, em centímetros, de acordo com a força resistida pelas juntas em vários tipos de ligações.

Gráfico 1 – Relação entre deformação (mm) e força (t) para diferentes tipos de ligações.



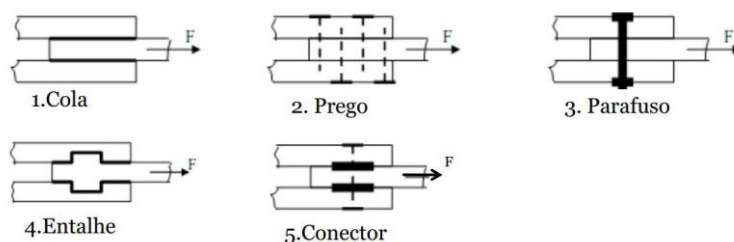
Fonte: CARRASCO, 2006.

2.1. TIPOS DE LIGAÇÕES

As ligações são todos os tipos de dispositivos que têm como função assegurar a união entre as peças e também viabilizar a transmissão dos esforços entre elementos de uma estrutura. As peças de madeira, em função das limitações de comprimento, principalmente da madeira serrada, exigem o uso de ligações para composição de elementos estruturais.

As ligações entre elementos estruturais de madeira são, basicamente, de três tipos: ligações por contato, ligações coladas e ligações mecânicas (Fig. 1). (DUARTE, 2004)

Figura 1 - Tipos de ligações.



Fonte: PFEIL, 2003

As ligações por contato consistem, simplesmente, no contato direto entre as peças de madeira. Estas ligações não garantem a continuidade das estruturas sendo necessária uma utilização conjunta com outro tipo de ligação para conseguir esta característica. O entalhe é um exemplo da ligação por contato (Fig. 2), porém, apenas pode ser utilizado quando ao

menos uma das peças resiste a esforços de compressão. (DUARTE, 2004)

Figura 2 – Berços ligados por contato (Canal em Oyonnax)



Fonte: FLACH e FRENETTE, 2000.

As ligações coladas são feitas através da união entre as peças de madeira e o uso de um adesivo colocado entre elas (Fig. 3). Elevada resistência e rigidez são características deste tipo de ligação na qual a eficiência está ligada ao adesivo e ao processo de fabricação. (DUARTE, 2004)

Figura 3 – Ligação colada | Múltiplos entalhes | Finger - joint



Fonte: AMAYA, 2013

Apesar da utilização de adesivos pelo homem consistir em uma técnica milenar, a fabricação de sintéticos se iniciou na primeira metade do século XX, empregando para isso o fenol-formaldeído. Não tardou para que se introduzissem matérias-primas alternativas para a confecção desses adesivos sintéticos, sendo que, antes do final da Segunda Guerra, já se utilizavam uréia-formaldeído, melamina-formaldeído e isocianatos. Após esse período, houveram avanços significativos em relação à eficiência desses produtos, com a introdução do resorcinol-formaldeído como produto base que, apesar do custo, apresenta uma resistência elevada à umidade, além daqueles a base de poliuretano. Recentemente, tem-se discutido a necessidade de materiais mais sustentáveis e que oferecessem menos riscos à saúde na confecção dos adesivos, como os poliuretanos provindo do óleo de mamona e aqueles fabricados a partir dos silicatos. (BIANCHE, 2014)

As ligações mecânicas são aquelas que utilizam o elemento de ligação penetrante nas peças de madeira, como parafusos (Fig. 4) ou pregos, sendo ambos considerados como pinos pela NBR 7190/97 - Projeto de Estruturas de Madeira, no cálculo estrutural. Já os parafusos podem ser com porca e arruela, ou rosqueados e auto-atarraxantes, sendo estes últimos mais comuns na utilização em marcenarias e na conexão de peças não estruturais. Menciona-se também a existência de pinos de madeira torneados entre a sobreposição de peças nas juntas, também denominadas como cavilhas, além da utilização de conectores, como é o caso das chapas com dentes estampados e dos anéis metálicos. Esses conectores à base de peças metálicas caracterizam-se pela elevada eficiência no que diz respeito à transmissão de esforços pela estrutura (CARRASCO, 2006).

Figura 4 – Ligação mecânica entre as barras de madeira



Fonte: FLACH e FRENETTE, 2000.

É importante frisar que as ligações em geral são pontos de concentrações de tensões, pontos chamados críticos das estruturas, que podem ocasionar o colapso das estruturas, se não forem adequadamente dimensionadas e executadas. Devido à importância sobre o assunto, a NBR 7190/97 dedica todo o capítulo oito oferecendo subsídio teórico para se fazer uma boa escolha e dimensionamento das ligações.

Figura 5 – Tipos de ligações | Vantagens x Desvantagens

Processo		Vantagens	Desvantagens
<i>Finger-jointing</i>		<ul style="list-style-type: none"> • Maior aproveitamento da madeira • Possibilidade de produzir peças de maior comprimento 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de maquinário específico para execução das juntas • Uso de adesivo de custo elevado
Madeira laminada	Colada	<ul style="list-style-type: none"> • Minimização dos defeitos pelas dimensões reduzidas e pela solidarização entre as peças de madeira • Obtenção de grandes estruturas a partir de peças de madeira de dimensões reduzidas • Possibilidade de utilizar madeira de qualidade inferior • Permite pré-fabricação dos componentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de maquinário específico (prensa) • Uso de adesivo de custo elevado
	Pregada		<ul style="list-style-type: none"> • Alto custo do prego • Corrosão pelo contato do prego com preservativo
	Aparafusada		<ul style="list-style-type: none"> • Alto custo dos parafusos • Corrosão pelo contato do parafuso com preservativo
	Cavilhada		<ul style="list-style-type: none"> • uso de maquinário específico para a produção das cavilhas
Peças compostas		<ul style="list-style-type: none"> • Aproveitamento de peças menores • Peças de execução um pouco complexa 	<ul style="list-style-type: none"> • As emendas constituem-se em pontos fragilizados da estrutura

Fonte: AMAYA, 2013

3. MADEIRA LAMINADA COLADA (MLC)

A madeira é um material heterogêneo e anisotrópico. Porém, alguns processos de transformação da madeira têm como objetivo alterar algumas de suas características de modo a fazer com que o material tenha um comportamento mais homogêneo e mais isotrópico (Fig. 6).

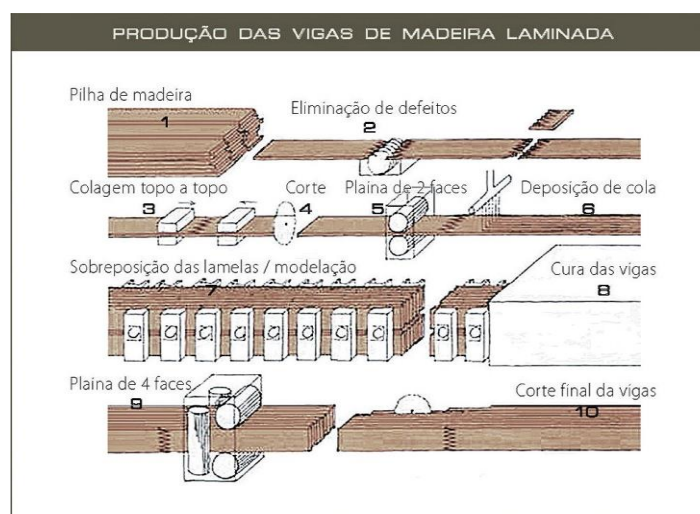
Figura 6 - Viga de madeira laminada colada (Green, 1999)



Fonte: Green, 1999.

Segundo Duarte (2004), a Madeira Laminada Colada, ou MLC, é um produto elaborado a partir da colagem de lâminas de madeira serradas, com a utilização de adesivos a base de resorcinol e poliuretano, de forma seletiva para diminuir a influência dos defeitos nas peças, com a direção das fibras paralela ao eixo longitudinal da peça. As lâminas utilizadas devem ser secadas em condições controladas de temperatura e umidade do ar, com o objetivo de reduzir os defeitos durante a secagem. Qualquer espécie de madeira pode ser utilizada, desde que o adesivo seja compatível e propicie uma adesão de qualidade entre as lâminas (Fig. 7).

Figura 7 – Produção de vigas de MLC.



Fonte: ARCOWEB – FINESTRA, 2016

A primeira fabricação de vigas estruturais à base de Madeira Laminada Colada (MLC) data de 1906, no qual utilizou-se cola de caseína, aprimorando as técnicas de emprego da matéria-prima na construção (CUNHA e MONTEIRO, 2009). No Brasil, as primeiras fábricas foram inauguradas na Região Sul na primeira metade do século passado, sendo que a primeira empresa fabricante de MLC da Região Sudeste foi inaugurada apenas em 1996. Porém, é ainda bastante deficiente a publicação de estudos nacionais conclusivos, que dizem respeito à utilização de espécies tropicais nativas na fabricação de elementos estruturais de madeira laminada colada (ZANGIÁCOMO, 2003).

Em 2009, o Brasil possuía apenas uma indústria de Glulam (Glued Laminated Timber, ou Madeira Laminada Colada) com a produção de 240 metros cúbicos por ano; já, em 2015, o Brasil possui quatro indústrias de Glulam, uma no estado de Goiás, duas em São Paulo e uma no Rio Grande do Sul. Enquanto na Áustria, com apenas uma indústria é produzida 170.000 metros cúbicos de madeira laminada colada ao ano. O Brasil, juntando todas as quatro fábricas, produz em torno de 5.000 metros cúbicos ano. Dentre as espécies utilizadas no Brasil

para a fabricação de Madeira Laminada Colada são mais utilizadas as espécies de Eucalipto e Pinus. O seu maior uso está sendo em casas residenciais de alto padrão e locais públicos (REVISTA DO EBRAMEM, 2015).

Apesar do custo elevado e da necessidade de equipamentos e mão-de-obra especializadas, a MLC apresenta uma versatilidade construtiva e um aprimoramento técnico que são difíceis de serem obtidos com a madeira maciça. Além da possibilidade de se atingir as mais variadas formas geométricas, o emprego da madeira laminada colada proporciona: maior facilidade na construção de grandes estruturas; redução de rachaduras em peças de madeira com volumes significativos; a possibilidade da combinação de espécies de madeira com qualidade inferior e outras, em determinadas situações; maior resistência à altas temperaturas e materiais corrosivos; além da possibilidade de aplicação de uma contra-flecha na peça, durante o processo de fabricação (ZANGIÁCOMO, 2003). Fatores como a idade da árvore no momento da poda e o tipo de espécie são de extrema importância para o real atendimento aos esforços solicitantes pela estrutura, pois podem haver diferenças significativas entre a resistência de troncos novos e aqueles mais amadurecidos devido ao grau de desenvolvimento interno das fibras. Peças de madeira que possuam taxas elevadas de lenho juvenil, apresentam resistência relativamente inferiores, em relação àquelas nas quais há uma maior concentração de lenho adulto, o que exige um maior critério na escolha do material estrutural (CUNHA e MONTEIRO, 2009).

Da mesma forma, do ponto de vista estrutural é de extrema importância o posicionamento das lâminas ao longo da seção transversal durante a fabricação da peça. Considerando que as lâminas posicionadas nas extremidades da peça de madeira possuem uma maior influência sobre o módulo de elasticidade do conjunto do que aquelas mais próximas à linha neutra, um ordenamento aleatório ou a simples ausência de ordem entre as lâminas pode suscitar em uma redução da resistência e da rigidez do conjunto (ZANGIÁCOMO, 2003). Torna-se interessante alocar as seções que apresentam maior resistência, ou maior módulo de elasticidade, nas extremidades (CUNHA e MONTEIRO, 2009).

Em Zangiácomo (2003), evidencia-se uma tentativa concreta de destacar-se alternativas possíveis de espécies de árvores tropicais na fabricação de madeira laminada colada no Brasil. A pesquisa baseou-se em ensaios de flexão estática em diferentes peças de vários tipos diferentes de espécie, coladas através de Cascophen (cola fenólica) ou à base de mamona, apesar de primeiramente constatar-se que a influência do tipo de adesivo utilizado nos testes foi mínima. A maior conclusão diz respeito ao posicionamento das camadas ao

longo da seção transversal na fabricação da peça, na qual uma disposição aleatória das lâminas, tendem a apresentar característica de resistência e rigidez inferiores àquelas não aleatórias. O maior potencial produtivo, destacado entre as espécies tropicais estudadas, refere-se à denominada Cedrinho, conhecida popularmente como Castanha-de-Paca ou Cedro-Bravo.

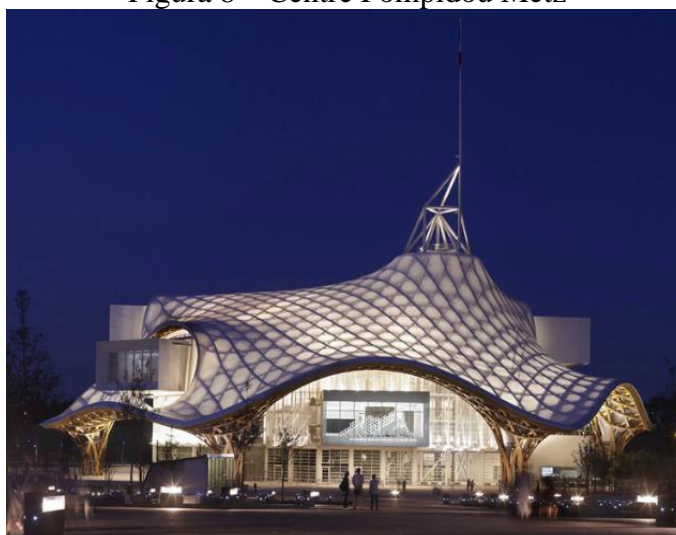
4. ESTUDO DE CASO

Seguindo a tendência conhecida como o “efeito Bilbao” com o Museu Guggenheim, em Bilbao, na Espanha, concluído em 1998, a estratégia do projeto para o Centre Pompidou, em Metz, na França, foi de criar uma arquitetura escultórica para deixar uma sensação marcante para os visitantes e incrementar o turismo em uma pequena cidade desconhecida.

4.1. CENTRE POMPIDOU - METZ

Em 26 de novembro de 2003, após um concurso internacional, o projeto proposto por Shigeru Ban Architects e Jean de Gastines Architectes foi selecionado para o Centre Pompidou-Metz (Fig. 8).

Figura 8 – Centre Pompidou Metz



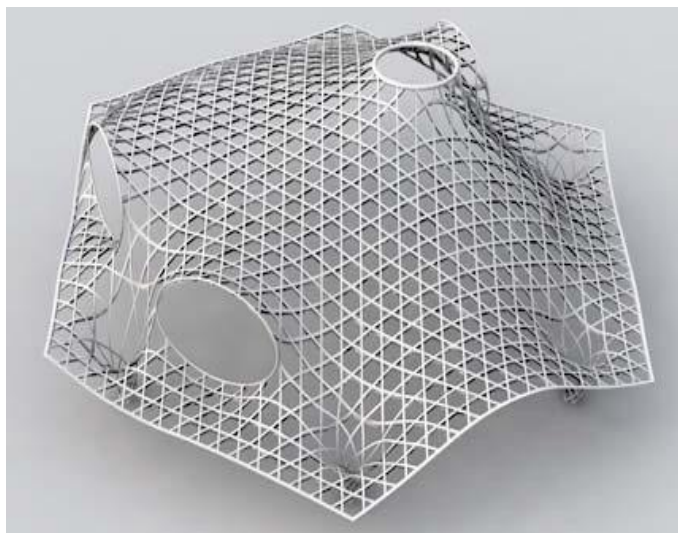
Fonte: Centre Pompidou Metz, 2016

Segundo os arquitetos, o Centro Pompidou-Metz é uma grande estrutura hexagonal com três galerias que atravessam o edifício. A torre central atinge até 77 metros, homenageando a data de 1977, abertura do original Centre Pompidou, em Paris. Dentro do prédio, a atmosfera geral é leve, com uma cobertura de madeira clara, paredes pintadas de branco e piso em concreto polido cinza-pérola. Sobre a cobertura, a relação entre o interior e o

exterior se mostrou uma opção de arquitetura altamente inovadora (CENTRE POMPIDOU METZ, 2016)

A cobertura é uma grande conquista: um hexágono de 90 metros de largura flutuando sobre o edifício (Fig. 9), com vigas de madeira espaçadas 2,90 metros de distância em um padrão hexagonal evocando a estrutura de tecido de um chapéu chinês (CENTRE POMPIDOU METZ, 2016).

Figura 9 – Centre Pompidou Metz



Fonte: Centre Pompidou Metz, 2016

4.2. A MALHA

A estrutura é composta por madeira laminada colada (Fig. 10), tornando-se altamente resistente e permitindo comprimentos incomuns. Duas camadas são sobrepostas em três direções diferentes por toda a estrutura hexagonal. (CENTRE POMPIDOU METZ, 2016).

Figura 10 – Centre Pompidou Metz, 2016



Fonte: Centre Pompidou Metz, 2016

Esta malha permite que a cobertura cubra uma distância de aproximadamente 40 metros em cada aresta do hexágono, sendo sua estrutura auto-suportada e descansa sobre apenas alguns pontos de apoio no perímetro do hexágono de projeção (Fig. 11). A geometria da cobertura é irregular, com superfícies côncavas e convexas ao longo de todo o edifício. Esta estrutura de madeira é uma das maiores e mais complexas construídas até hoje. Estudos em túnel de vento determinou a sua performance (CENTRE POMPIDOU METZ, 2016).

Figura 11 – Centre Pompidou Metz, 2016



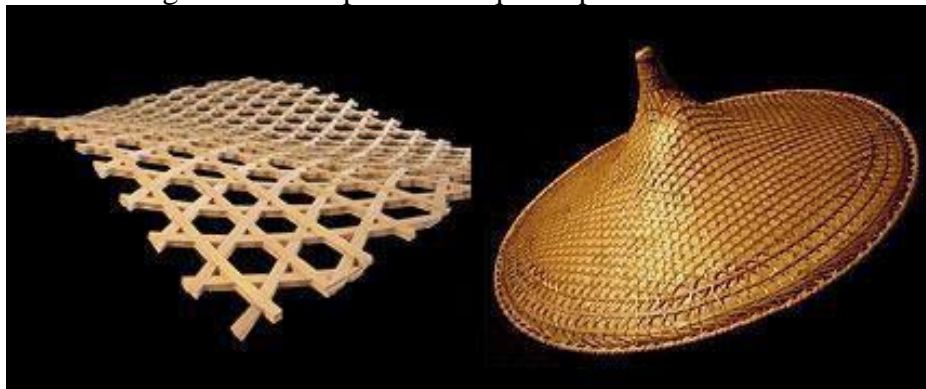
Fonte: Centre Pompidou Metz, 2016

4.3. A COBERTURA

Imitando o chapéu chinês (Fig. 12), toda a estrutura de madeira é coberta com uma malha de proteção, uma membrana de fibra de vidro e teflon. Este material impermeável cria um ambiente naturalmente climatizado, ajudando a atender os exigentes requisitos de energia do edifício e garantindo que as obras de arte estejam expostas e mantidas nas condições de

conservação exigidas (CENTRE POMPIDOU METZ, 2016).

Figura 12 – Chapéu chinês que inspirou a cobertura.



Fonte: Centre Pompidou Metz, 2016

Uma maquete (Fig. 13) foi exposta a grandes ventiladores e canhões de neve no túnel de vento Jules Verne, em Nantes, onde a cobertura do Centre Pompidou-Metz foi estudada em condições extremas. Oito séries de medições foram conduzidas para estudar a incidência do vento sobre o edifício e também em seu ambiente interno, em especial para analisar os efeitos sobre os visitantes. (CENTRE POMPIDOU METZ, 2016)

Figura 13 – Maquete exposta aos testes de vento e neve.



Fonte: Centre Pompidou Metz, 2016

As alterações das propriedades físicas e mecânicas da madeira, como o tipo de tratamento, o teor de umidade e a qualidade das fibras tem sido alvo de pesquisas cada vez mais frequente nos últimos anos. O avanço dos estudos da aplicação das juntas de madeira tem impulsionado significativamente o mercado deste material no último século, quando se destaca também a Madeira Laminada Colada (MLC), que ampliou as possibilidades construtivas atendendo as atuais demandas estéticas e estruturais, apresentando versatilidade e vantagens no seu uso.

Com os estudos e aplicações da MLC o mercado da construção civil tem experimentado conquistas importantes, desde a possibilidade de vãos maiores até a criação de formas e recursos estéticos antes impossíveis com a utilização da madeira maciça. O emprego da MLC em obras arrojadas tem se justificado devido ao seu caráter versátil e desempenho com elevada resistência mecânica apesar do seu baixo peso próprio, a estabilidade das suas dimensões e a possibilidade de produção de peças estruturais capazes de vencer grandes vãos com seções reduzidas. A plasticidade é outra característica muito importante da MLC que permite ao material receber diferentes formas pela moldação através de curvaturas e torções.

Com tudo isso, se fazem necessários os permanentes estudos para o desenvolvimento e a adequada utilização das juntas de madeira que permitem o emprego e a associação de materiais diversos, como madeira-concreto e madeira-aço, unidos por estes dispositivos, para uma harmônica integração, tanto estética quanto funcional e estrutural.

REFERÊNCIAS

AMAYA, Magda Lorena Chilito. **Reforço de emendas dentadas com compósitos de fibras em peças de madeira. 2013. Dissertação (Mestrado)** - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ARCOWEB - FINESTRA – **Revista Projeto. Sistemas construtivos – Estruturas para fechar grandes vãos.** Disponível em: <<https://arcoweb.com.br/finestra/tecnologia/tecnologia--sistemas-construtivos>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

BIANCHE, Juliana Jerásio. **Interface madeira-adesivo e resistência de juntas coladas com diferentes adesivos e gramatura.** 2014. Tese (Pós-Graduação em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

CARRASCO, Edgar V. Mantilla. **Estruturas usuais de madeira.** Copyright 2013. Belo Horizonte: Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

CENTRE POMPIDOU METZ. **The Architecture – Roofing.** Disponível em: <<http://www.centrepompidou-metz.fr/en/roofing>>. Acesso em: 06 mai. 2016.

CONTRACTORS WORLD INTERNATIONAL. **Outstanding Architectural Design is Challenge for Contratctor.** Disponível em: <<http://cwmags.com/cw-1-7/index.php>>. Acesso em: 06 mai. 2016.

CUNHA, Alexsandro B. da; MONTEIRO, Jorge Luis. **Determinação do módulo de elasticidade em madeira laminada colada por meio de ensaio não destrutivo (“stress wave time”).** Revista Árvore, vol.34, nº 2, p. 345-354, 2009.

DUARTE, Renata de Souza; CARRASCO, Edgar Vladimiro Mantilla. **Avaliação do comportamento de ligações com parafusos auto-atarraxantes em vigas de MLC. 2004.**

Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.

FLACH, Michael; FRENETTE, Caroline. **Engineering solutions and connections**. Proceedings of the 6th World Conference on Timber Engineering, Whistler Resort, British Columbia, Canada, Jul. 2000.

GREEN, D. W. . **Wood as an engineering material. Wood Handbook**. Forest Products Laboratory. 1999.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. **Estruturas de Madeira**. 6ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

REVISTA DO EBRAMEM. Curitiba: **Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira**. 09-11 Mai. 2015.

ZANGIÁCOMO, André Luiz. **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada**. 2003. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.